

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Kasdi Merbah Ouargla
FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
Département de Génie Civil et Hydraulique



Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de
Master, Filière : Travaux Publics

Spécialité : VOIES ET OUVRAGES D'ART (V.O.A)

THÈME

Étude de l'influence de l'ajout de sable concassé
sur le comportement mécanique des tufs

Présenté par :

❖ CHERFAOUI Hadjer

Soumis au jury composé de :

BENTATA Aissa	MAB	Président	UKM Ouargla
KHENGAOUI Safia	MAB	Examineur	UKM Ouargla
KEBAILI Nabil	MCA	Encadreur	UKM Ouargla

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2022-2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الإهداء

الحمد لله وكفى والصلاة على الحبيب المصطفى وأهله و من وفي أما بعد:

الحمد لله الذي وفقنا لتثمين هذه الخطوة في مسيرتنا الدراسية بهذه المذكرة المتواضعة ثمرة الجهد و التعب و النجاح بفضلته تعالى مهداة إلى
أمي العزيزة، و أبي العزيز حفظهما الله و ادامهما نورا لدربي.

نعمة وجودهم في حياتي إلى من وهبني الله و كان لي عوناً في هذه الحياة اخوتي و اخواتي.

إلى من كانتني و نحن نشق الطريق معا نحو النجاح في مسيرتنا، صديقتي الغالية إيمان.

و أخيراً إلى كل من ساعدني، و كان له دور من قريب أو بعيد في إتمام هذه الدراسة، سائلة المولى أن يجزي الجميع خير الجزاء في الدنيا و
الآخرة.

ثم إلى كل طالب علم سعى بعلمه، ليفيد الإسلام و المسلمين بكل ما اعطاه الله من علم و معرفة.

SOMMAIRE

Sommaire	
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LES TUF	
1. INTRODUCTION	2
2. DEFINITIONS	2
2.1 Les Tufs	2
2.2 Les type de Tufs...	2
2.2.1 Les encroûtement gypso-calcaires (mixtes)	2
2.2.2 Les encroûtements calcaires	3
2.2.3 Les encroûtements gypseux	4
2.2.4 Les encroûtements gypseux tuf	4
2.2.5 Formation des encroûtements gypseux...	4
2.2.6 Le gypse	4
2.2.7 Les encroûtements gypseux	5
2.2.8 Formation des encroûtements gypseux	5
3. CALCAIRE	5
4. UTILISATION DU SABLE GYPSEUX EN TECHNIQUE ROUTIERE	5
CHAPITRE II : CARACTERISATION DES TUF	
1. INTRODUCTION	7
2. ESSAIS DE CARACTERISATIONS DES TUF	7
2.1 Analyse Chimique...	7
2.2 Essai Analyse Granulométrique du tuf	8
3. ESSAIS DE CARACTERISATION	10
3.1.1 Essai Analyses chimiques	10
3.1.2 Analyses Chimique sdu sable concassés	10
3.2 Analyses granulométriques du sable concassé	10
Conclusion	12
CHAPITRE III : LES ESSAIS PROCTOR	
1. TUF	14
2. SABLE CONCASSE	14
3. DEFINITIONS.	15
4. ESSAI PROCTOR (NF P 94 – 093)	15
4.1. TYPES D'ESSAIS PROCTOR	15
4.1.1. Proctor normal	15
4.1.2. Essai Proctor modifié.	16
5. BUT DE L'ESSAI	16
6. PRINCIPE DE L'ESSAI...	16
7. MATÉRIEL NÉCESSAIRE	17
8. MODE OPÉRATOIRE.	17
9. RÉSULTATS OBTENUS	18
CONCLUSION	23
Conclusion Générale	25
Références bibliographiques	27

Liste de figures	
Figure II.1 : Courbe Granulométrique du tuf	9
Figure II.2 : Courbe Granulométrique du sable concassé	12
Figure III.1 : Tuf utilisé	14
Figure III.2 : Sable concassé utilisé	15
Figure III.3 : Matériels pour essai Proctor	17
Figure III.4 : Déroulement de l'essai Proctor	18
Figure III.5 : Courbe Proctor Normal (0% de sable concassé)	19
Figure III.6 : Courbe Proctor Normal (5% de sable concassé)	20
Figure III.7 : Courbe Proctor Normal (10% de sable concassé)	21
Figure III.8 : Courbe Proctor Normal (15% de sable concassé)	28
Figure III.9 : Courbe Proctor Normal (20% de sable concassé)	28

Liste des tableaux	
Tableau II.1 : Analyses chimiques sommaires du tuf	07
Tableau II.2 : Analyse granulométrique du tuf	09
Tableau II.3 : Analyse chimique du sable concassée	10
Tableau II.4 : Analyse granulométrique du sable concassé	12
Tableau III.1 : résultats de la tuf+0% sable concassé	19
Tableau III.2 : résultats de la tuf+5% sable concassé	19
Tableau III.3 : résultats de la tuf+10% sable concassé	21
Tableau III.4 : résultats de la tuf+15% sable concassé	21
Tableau III.5 : résultats de la tuf+20% sable concassé	28

Liste des photos	
Photo II.1 : Analyse granulométrique par tamisage du tuf	08
Photo II.2 : Analyse granulométrique par tamisage du sable concassé	11

ملخص:

التيف هو المكون الرئيسي الذي يستخدم في بناء الطرق في جنوب الجزائر (منطقة ورقلة) لوفرتة وسهولة تنفيذه. هذا العمل يدخل ضمن إطار البحث عن استعمال المواد المحسنة في بناء قاعدة الطرق، الدراسة التي اجريت في المخبر ذهبت باتجاه اضافة رمل اصطناعي إلى الطف بنسب مختلفة بهدف تحسين الخصائص الميكانيكية للمادة المحصلة لإنشاء الطرق والحصول على مقاومة عالية، وقد اظهرت النتائج المحصلة عليها ان اضافة الرمل الاصطناعي ساهم بشكل كبير في تحسين الخصائص الميكانيكية لهذه المادة (الطف).

الكلمات المفتاحية: التيف، الطرق، رمل اصطناعي، مواد محلية، الرص.

Résumé :

Le tuf est le constituant principal entrant dans la construction routière dans le sud algérien (région d’Ouargla) en raison de son abondance et sa facilité de mise en œuvre. Ce travail s’inscrit dans le cadre recherches sur l’utilisation de matériaux améliorée, en construction d’assise de chaussées. Des études ont été faites au laboratoire allant dans le sens de l’ajout du sable concassée sur le tuf en pourcentages différents, afin d’améliorer les propriétés mécanique du matériau obtenue et d’obtenir une résistance élevée, les résultats obtenus ont montré que l’ajout de sable concassée contribuait grandement à l’amélioration des propriétés mécanique de cette substance (Tufs).

Mots clés : Tuf, routes, Sable Concassé, matériaux locaux, compactage.

Abstract:

Tuff is the main component used in roads construction in southern Algeria (Ouargla region) for its abundance and easiness. It was a part in searching of improved substances in the construction of the road foundations.

Because of a study made in a laboratory was concluding that the adding of artificial sand to float in different proportions is leading to improve the mechanical characteristics of the substance and get a high resistance to construct roads.

Key words: Tuff, Roads, Artificial sand, local materials or Local substances, stacking.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les encroûtements calcaires (Tufs) sont des matériaux disponibles dans de multiples régions de l'Algérie. Ils sont utilisés dans des divers domaines : Routes, bâtiments, matériau de construction...etc.

La croûte calcaire varie d'une région à l'autre dans le monde, les tufs sont des matériaux utilisés en particulier dans le domaine routier suite à leur performance. Ils sont principalement utilisé sous de grave non traités ou défis stabilisés dans le corps de chaussées.

Dans ce travail nous avons présenté dans le premier chapitre une revue faisant ressortir, une définition de ce type de matériaux, ces performances et les caractéristiques mécanique au laboratoire.

En dernier, ce travail sera finalisé par une conclusion générale qui interprète les résultats trouvés et nous espérons avoir laissé une base de travail positive qui sera utile dans la poursuite des travaux de recherche.

Nos travaux de recherche sont répartis en trois chapitres qui sont les suivants :
CHAPITRE I : GÉNÉRAL ITÉS SUR LES TUFES.

CHAPITRE II : IDENTIFICATION DES MATÉRIAUX UTILISÉS POUR L'ESSAI DE TUFES ET SABLE CONCASSÉ.

CHAPITRE III : ESSAIS DE COMPACTAGE PROCTOR.

En dernier, ce travail sera finalisé par une conclusion générale qui interprète les résultats trouvés et nous espérons avoir laissé une base de travail positive qui sera utile dans la poursuite.[4]

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS SUR LES TUFS

1. INTRODUCTION

Les tufs calcaires existent dans la plupart des Pays du bassin méditerranéen et occupent les zones à climat sec. L'abondance de cette ressource naturelle, fait que leur utilisation comme matériau routier est devenue de plus en plus répandue.

2. DEFINITIONS

2.1. Les Tufs

Dans le langage ordinaire, le mot désigne toute roche de porosité élevée et de faible densité, souvent pulvérulente. Les tufs d'encroûtements font partie des matériaux subnormaux utilisés en construction routière dans de nombreux pays à climat aride ou subhumide. Ils sont classés, suivant leur nature chimique, en trois catégories :

- les tufs se définissent comme étant des formations superficielles, tendres, friables, poreuses, légères et de couleur claire.
- ces roches sont de constitution variable et résultent d'un certain nombre d'échanges par dissolution et précipitation.
- Suivant leur composition, les tufs se groupent en trois catégories :
 - 1- les tufs calcaires.
 - 2- les tufs gypseux.
 - 3- les tufs mixtes.

2.2. Les type de Tufs

Les encroûtements se groupent en trois types.

2.2.1. Les encroûtement gypso-calcaires (mixtes)

Les encroûtements calcaires sont la formation pédologique caractéristique des climats subhumide et semi-aride. Au-delà d'une certaine aridité, leur développement est arrêté à la source : insuffisance de précipitation pour dissoudre et drainer le calcaire vers les nappes phréatiques. En climat désertique, les encroûtements gypseux peuvent relayer les encroûtements calcaires. Inversement, lorsque l'on passe du climat désertique au climat semi-aride, le gypse devient instable dans les sols à cause de sa solubilité

notable : Les encroûtements mixtes sont des formations de tufs calcaires gypso fiés à prédominance carbonatée ou de tufs gypseux calcifiés à prédominance sulfatée.[2]

Guettouche, explique la présence des formations calcaires au Nord Sahara, gypseuses plus au sud, dans régions hyperarides et les gypso-calcaires dans zones intermédiaires par la suite évaporitique caractérisant résultant de l'évaporation d'une eau, chargée en différents minéraux : le carbonate de calcium précipite en premier sous forme d'aragonite (CaCO_3), puis de gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), puis la halite (NaCl), et finalement est sels de potassium et de magnésium.[2]

Les matériaux gypso-calcaires ont été largement utilisés dans des chaussées du Sahara, en Algérie. D'après les règles énoncées par Fenzy, la teneur en gypse et calcite de ces matériaux doit dépasser une certaine valeur. Ainsi des sables gypso-calcaires ne doivent être utilisés en couche de base qui si la teneur en gypse plus carbonates dépasse 70%. [2]

2.2.2. Les encroûtements calcaires

La croûte calcaire est un matériau terrestre composé essentiellement, mais pas exclusivement de carbonates de calcium. Les croûtes existent à l'état poudreux, nodulaire ou très induré ; elles sont dues à la cimentation, à l'accumulation ou au remplacement de quantités plus au moins grandes de sols, roche ou matériaux altérés par du calcaire dans une zone d'infiltration.

2.2.3 Les encroûtements gypseux

L'encroûtement gypseux est une formation dont l'épaisseur varie de quelques centimètres à plus d'un mètre parfois. De haut en bas on y distingue principalement deux horizons. [1]

Le premier, de couleur blanchâtre, d'aspect massif présente une structure pulvérulente, très fine, comme du 'talc'. Il y a une certaine cohérence et une compacité dans cette masse amorphe car il est possible d'en prélever des mottes. [4]

2.2.4. Les encroûtements gypseux tuf

L'encroûtement gypseux est une formation dont l'épaisseur varie de quelques centimètres à plus d'un mètre parfois. De haut en bas on y distingue principalement deux horizons.[4]

Le premier, de couleur blanchâtre, d'aspect massif présente une structure pulvérulente, très fine, comme du 'talc'. Il y a une certaine cohérence et une compacité dans cette masse amorphe car il est possible d'en prélever des mottes. [1]

2.2.5. Formation des encroûtements gypseux

Dans la nature, le gypse se dépose par évaporation des solutions concentrées de sulfates en milieu confiné (lagunes littorales, chotts, sebkhas) pour former avec d'autres sels des roches sédimentaires appelées évaporites. [1]

Les gisements de sables gypseux de la zone aride ont une autre origine, il s'agit des encroûtements gypseux formés à différentes époques du quaternaire par dépôt du gypse dans le sol à partir de l'évaporation des nappes phréatiques séléniteuses. [1]

2.2.6. Le gypse

Est une espèce minérale composée de sulfate déshydraté de Calcium, de formule chimique $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$. Le même mot, gypse désigne aussi une roche évaporite majeure, constituée principalement du minéral gypse. On extrait le gypse de carrières appelées plâtrées, ou impurement gypseries.

2.2.7. Les encroûtements gypseux

Les encroûtements gypseux sont des compositions semblables aux encroûtements calcaires. Ils sont très blablas dans les régions à climat arides où les précipitations sont insuffisantes pour lixivier le gypse (c'est faire passer lentement un liquide à travers une poudre pour en extraire les produits solubles), qui existe déjà dans les compositions géologiques anciennes. Ce minéral qui présente l'élément actif de la cimentation de ces formations, possède une dureté très faible : il peut être rayé à l'ongle ; cette particularité pourrait paraître suffisante pour interdire l'utilisation du gypse comme matériau de chaussée en zones climatiques subhumides et semi-arides. [4]

2.2.8. Formation des encroûtements gypseux

Dans la nature, le gypse se dépose par évaporation des solutions concentrées de sulfates en milieu confiné (lagunes littorales, chotts, sebkhas) pour former avec d'autres sels des roches sédimentaires appelées évaporites. [1]

Les gisements de sables gypseux de la zone aride ont une autre origine, il s'agit des encroûtements gypseux formés à différentes époques du quaternaire par dépôt du gypse dans le sol à partir de l'évaporation des nappes phréatiques séléniteuses. [1]

3. CALCAIRE

Connu principalement sous forme de carbonate de calcium CaCO_3 . Il est l'un des minéraux les plus répandus de l'écorce terrestre. Il constitue des roches grenues à grands, moyens et fins grains ; sa densité est de $2,7\text{g/cm}^3$. Il est peu soluble dans l'eau et régit vivement à l'action des acides. [1]

4. UTILISATION DU SABLE GYPSEUX EN TECHNIQUE ROUTIERE

Les tufs constituent une ressource en matériau routiers particulièrement intéressante et économique pour de nombreux pays à climat arides ou semi-aride. [1]

Ces matériaux présentent, lorsqu'ils sont utilisés en assises des chaussées, un comportement bien meilleur que ne laisseraient supposer leurs caractéristiques géotechniques, si on le compare aux spécifications des endroits tempérés. [1]

CHAPITRE II

IDENTIFICATION DES MATÉRIAUX UTILISÉS

1. INTRODUCTION

L'identification des matériaux utilisés est une étape cruciale pour tout travail expérimentale.

Elle permet de déterminer certaines caractérisations chimiques.

Ce chapitre présente un aperçu sur les différents essais de caractérisation effectués ainsi que les résultats obtenus.

2. ESSAIS DE CARACTERISATIONS DES TUFs

2.1. Analyses Chimiques Sommaires

Elle est réalisée à la base des normes NF P15-461 ; bs 1377 et NF P94-048, pour la détermination des taux d'insoluble (le quartz principalement), le taux de gypse, le taux de carbonate et la teneur en sels. Sont effectués sur la base des normes NF P15-461.[2]

D'après L'analyse Chimique (tableau 2-1) établie, notre tuf à la nature gypseuse vu de la dominance du taux de sulfates de calcium qui est d'environ 60%.[2]

Table II.1 : Analyse chimique du tuf

Echantillon		Résultat
Insoluble NFP 15-461	Insoluble	82,20
Sulfates BS 1377	% SO_3^{2-}	28,19
	% SO_4^{2-}	33,86
	$CaSO_3 \cdot 2H_2O$	60,61
Carbonates NFP 15-461	% $CaCO_3$	15,01
Chlorures (Méthode de Mohr)	Cl^-	0,62
	% NaCl	1,02

2.2. Analyse Granulométrique (NF P94-056) du tuf

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur des grains d'un matériau et le pourcentage des grains de chaque grosseur. L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue. Les masses des différents refus ou celles des différents tamisât rapportées à la masse initiale du matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique). [5]

Le but de l'essai est de déterminer la grosseur, forme de granulats constituant les échantillons. [5]

On appelle :

- **refus** sur un tamis : la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis. [5]
- **tamisât** (ou passant) : la quantité de matériau qui passe à travers le tamis. [5]

- **Préparation de l'échantillon pour essai**

Le principe consiste à prélever un échantillon de 1000g de tuf, mais cet échantillon est prélevé à partir de l'échantillonnage d'une quantité de 10Kg prélevé du gisement proprement dite, Pesez l'échantillon dans chaque tamis et l'échantillon dessous, en prend 1 kg, en mettez-le dans de l'eau de pendant 24 heures au four pour compléter l'analyse restante. Après la période spécifiée, il est filtré dans le tamis de 0,08 Prend refus et passer dans le four 24h. Le tamis est ensuite tamisé dans des tamis sous le N° (5/2/1/0,400/0,200/0,100/0,08) Les poids sont pris en compte et la courbe est dessinée. [5]



Photo II.1 : Matériel pour analyse granulométrique

Tableau II.2 : Analyse granulométrique du tuf

Tamis (mm)	Poids refus partiels (g)	Poids refus cumulés (g)	Poids refus cumulés (%)	Complément à 100	Tamisats (%)
10	00,00	00,00	00,00	100%	100%
5	2,27	2,27	0,227	99,77	100%
2	8,79	11,06	1,106	98,89	99%
1	17,64	28,70	2,87	97,13	97%
0,4	62,37	91,07	9,107	90,89	91%
0,2	509,79	600,86	60,086	39,91	40%
0,1	178,36	779,22	77,922	22,08	22%
0,08	0,29	779,51	77,951	22,03	22%

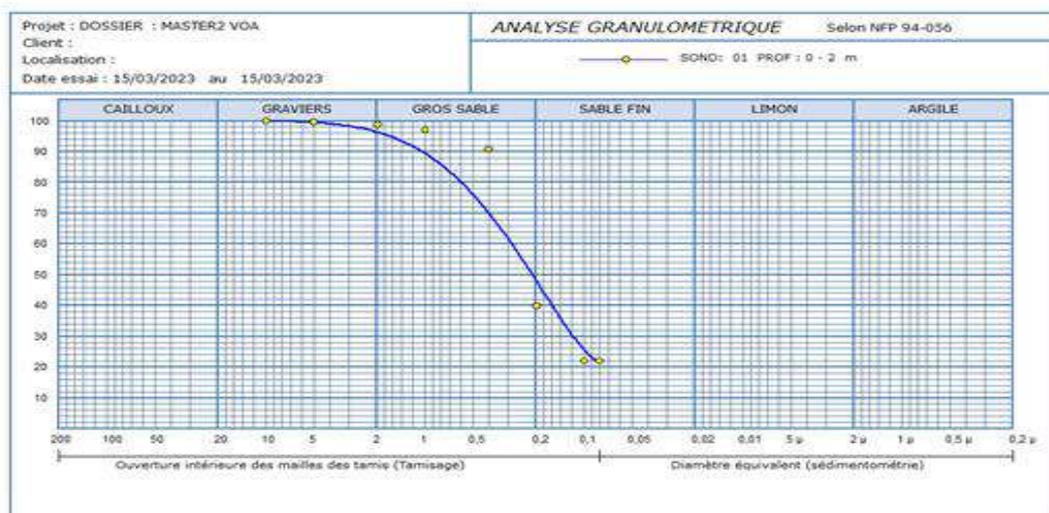


Figure II.1 : Courbe Granulométrique du tuf

3. ESSAI DE CARACTERISATION DU SABLE CONCASSE

3.1. Analyse Chimique du sable concassés

Elle est réalisée à la base des normes NF P15-461 ; bs 1377 et NF P94-048, pour la détermination des taux d'insoluble (le quartz principalement), le taux de gypse, le taux de carbonate et la teneur en sels. Sont effectués sur la base des normes NF P15-461.[2]

D'après L'analyse Chimique (tableau 2-1) établie, notre sable concassée est de nature carbonatée vu de la dominance du taux de sulfates de calcium qui est d'environ 6%. [2]

Tableau II.3. Résultats d'analyse chimique de sable concassée

Echantillon		Résultat
Insoluble NFP 15-461	Insoluble	23,5
Sulfates BS 1377	SO ² -3	2,64
	SO ² -4	3,17
	CaSO ₃ ,2H ₂ O	5,67
Carbonates NFP 15-461	CaCO ₃	70
Chlorures Méthode de Mohr.	Cl ⁻	0,022
	NaCl	0,037

3.2. Analyse granulométrique (NFP 94-056) du sable concassé

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur des grains d'un matériau et le pourcentage des grains de chaque grosseur. L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue. Les masses des différents refus ou celles des différents tamisât rapportées à la masse initiale du matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique). [5]

Le but d'essai détermine la grosseur, forme de granulats constituant les échantillons.

On appelle :

-**refus** sur un tamis : la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis. [5]

-**tamisât** (ou passant) : la quantité de matériau qui passe à travers le tamis. [5]

- **Préparation de l'échantillon pour essai**

Le principe consiste à prélever un échantillon de 1000g de sable concassés, mais cet échantillon est prélevé à partir de l'échantillonnage d'une quantité de 10Kg prélevé du gisement proprement dite, Pesez l'échantillon dans chaque tamis et l'échantillon dessous, en prend 1 kg, en mettez-le dans de l'eau de pendant 24 heures au four pour compléter l'analyse restante. Après la période spécifiée, il est filtré dans le tamis de

0,08 Prend refus et passer dans le four 24h. Le tamis est ensuite tamisé dans des tamis sous le N° (5/4/2,5/2/1,25/1/0,63/0,500/0,400/0,315/0,250/0,200/0,160/0,08) Les poids sont pris en compte et la courbe est dessinée. [5]



Photo II.2 : Analyse granulométrique par tamisage du sable concassé

Tableau II.4. Analyse granulométrique du sable concassé

Tamis	Refus partiel	Refus cumule	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
5	1,77	1,77	0,177	99,82	100%
4	0,3	2,07	0,207	99,79	100%
2,5	155,45	157,52	15,752	84,25	84%
2	98,21	255,73	25,573	74,43	74%
1,25	172,55	428,28	42,828	57,17	57%
1	56,95	485,23	48,523	51,48	51%
0,63	87,67	572,90	57,290	42,71	43%
0,5	35,51	608,41	60,841	39,16	39%
0,4	34,48	642,89	64,289	35,71	36%
0,315	24,69	667,58	66,758	33,24	33%
0,250	5,16	672,74	67,274	32,73	33%
0,200	44,97	717,71	71,771	28,23	28%
0,160	21,43	739,14	73,914	26,06	26%
0,08	46,54	785,68	78,568	21,43	21%

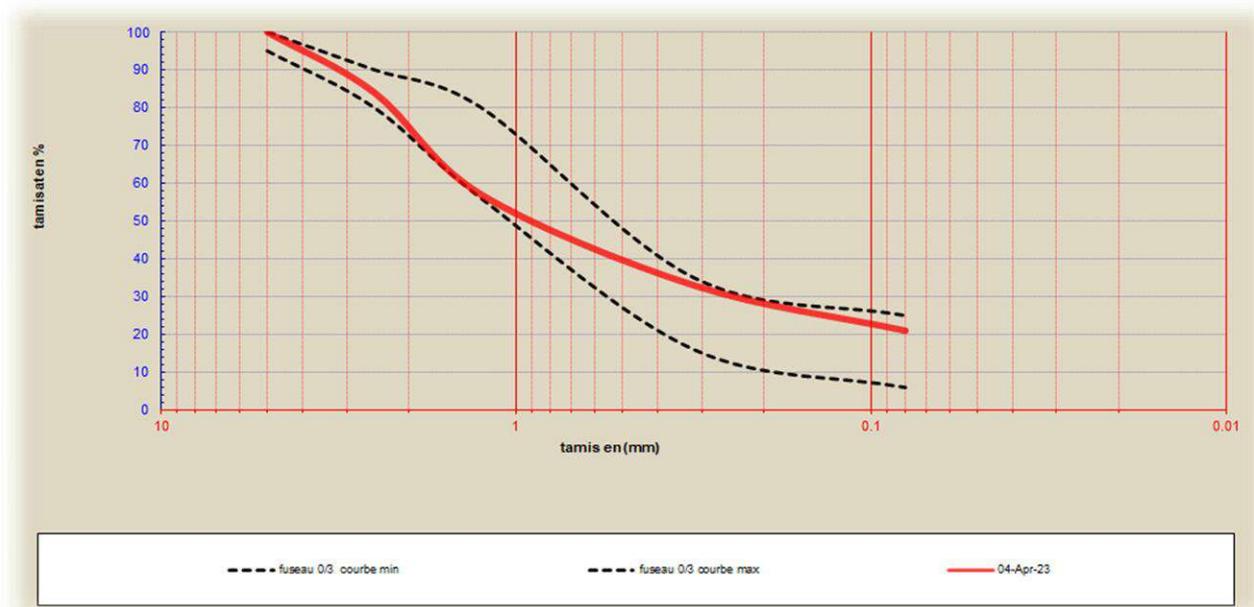


Figure II.2 : Courbe Granulométrique du sable concassé

Conclusion

Tuf est une substance de grande importance, est utilisée à l'état brute dans divers domaines industrielle, lorsque ils présentent des caractéristique chimique et physique bien déterminer, son utilisation s'tale vers des domaines plus complexes, lorsque l'industrie. [6]

CHAPITRE III

ESSAIS DE CMPACTAG PROCTOR

1. TUF

Les essais sont réalisés au laboratoire des travaux publics du Sud L.T.P.S-Ouargla. Pour notre étude on a utilisé des tufs provenant de la région d'Ouargla.



Figure III.1. Tuf utilisé

SABLE CONCASSE

Les essais sont réalisés au laboratoire des travaux publics du Sud L.T.P.S-Ouargla. Pour notre étude on a utilisé des sables concassé de la C.N.T.P



Figure III.2. Sable concassé utilisé

1. DEFINITION

Lorsque le matériau est destiné à être utilisé en couche de chaussée, on adopte la version dite Proctor Modifiée pour laquelle l'énergie de compactage est la plus forte à peu près quatre fois que du Proctor normal.

Les résultats de cet essai sont très dispersés car le comportement d'un matériau dépend de la teneur en eau, du compactage et de la granularité.

Le moule Proctor ($\varnothing = 101,6$ mm, HSol = 116,4 mm) lorsque le matériau est suffisamment fin (pas d'éléments supérieurs à 5 mm, $D \leq 5$ mm. [1]

ESSAI PROCTOR (NF P 94 – 093)

4.1. TYPES D'ESSAIS PROCTOR

4.1.1. Proctor normal

- Le compactage n'est que moyennement poussé. Il est généralement utilisé pour les études.
- Il s'effectue en trois couches avec « la dame Proctor normal », l'énergie de compactage est de :
- 55 coups de dame par couche dans le moule CBR.
- 25 coups par couche dans« le moule Proctor normal». [1]

4.1.2. Essai Proctor modifié

- Le compactage est beaucoup plus intense. C'est ordinairement par l'essai Proctor modifié que l'on détermine les caractéristiques de compactage (teneur en eau optima, densité sèche maxima) des matériaux destinés à constituer la fondation ou le corps de chaussée des routes et des pistes d'aérodromes. [1]
- Le compactage dans ce cas s'effectue en cinq couches successives avec « la dame Proctor modifié » l'énergie de compactage est de :
- 56 coups de dame par couche dans le moule C.B.R.

- L'essai est répété plusieurs fois de suite sur des échantillons à des teneurs en eau croissantes. On détermine ainsi plusieurs points de la courbe représentative des densités sèches en fonction des teneurs en eau, on trace alors la courbe en interpolant entre les points expérimentaux. Cette courbe présente un maximum dont l'abscisse correspond à la teneur en eau optimale et l'ordonnée correspond à la densité sèche maximale Proctor. [1]
 - Calcul de la teneur en eau : $W = (\text{Poids de l'eau} / \text{Poids sec}) \times 100$.
 - Calcul de la densité sèche : $\text{Densité sèche} = \text{Poids sec} / \text{Volume}$.

2. BUT DE L'ESSAI

Il existe une teneur en eau particulière(w) optimum notée pour l'essai Proctor normal et pour l'essai Proctor modifié pour laquelle le compactage conduit à une masse volumique sèche ρ_d (ou un poids volumique) maximum. La masse volumique maximale correspond donc à un état de compacité maximum et à une capacité de résistance maximum. L'essai Proctor permet de déterminer ces conditions particulières.

3. PRINCIPE DE L'ESSAI

Le principe de cet essai consiste à humidifier un matériau à plusieurs teneurs en eau et à le compacter, pour chacune des teneurs en eau, selon un procédé et une énergie conventionnels. Pour chacune des valeurs de teneur en eau considérées, on détermine la masse volumique sèche du matériau et on trace la courbe des variations de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau. D'une manière générale cette courbe, appelée courbe Proctor, présente une valeur maximale de la masse volumique du matériau sec qui est obtenue pour une valeur particulière de la teneur en eau. Ce sont ces deux valeurs qui sont appelées caractéristiques optimales de compactage Proctor Normal ou Modifié suivant l'essai réalisé. [4]

4. MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- Moule Proctor avec embase et hausse.
- Dame Proctor modifié
- Règle à araser. [1]



Figure III.3 : Matériels pour essai Proctor

4. MODE OPÉRATOIRE

- 1- Faire choix du matériel (moule, dame).
- 2- Humidifier le sol à la teneur en eau voulue, bien homogénéiser.
- 3- Monter la base du moule sur socle et peser cet ensemble.
- 4- Monter la hausse sur le moule.
- 5- Effectuer l'essai Proctor suivant la norme (nombre de couches, nombre de coups de dame par couche et disposition de ces coups) retirer la hausse et araser.
- 6- Peser le moule, le socle et le contenu, en déduire la masse de sol contenu dans le moule.



Figure III.4 : Déroulement de l'essai Proctor

- 7- Démontez le socle, prélevez une petite quantité de sol de part et d'autre du moule et effectuez les mesures de teneur en eau (il faut que la quantité prélevée en haut du moule soit sensiblement égale à celle prélevée en bas du moule). On admet que la teneur en eau d'humidification est la teneur en eau réelle. [1]

La masse volumique du matériau compacté varie en fonction de sa teneur en eau, l'allure du graphe $\gamma_d = f(W\%)$. Après le compactage dans le moule Proctor on va mesurer la masse de l'échantillon. $\Gamma_h = M_h / (\text{volume de moule})$; $\gamma_d = \gamma_h / (1-w)$. [1]

5. RÉSULTATS OBTENUS

Les essais Proctor Normal ont été faits selon la norme NFP 94-093 pour les différents mélanges Tuf/sable concassé.

Tableau III.1 : Résultats du tuf (0% sable concassé)

Poids d'eau ajoutée	10% 250	12% 300	14% 350	16% 400
Poids total humide. (g)	5125	5186	5217	5194
Poids du moule (g)	3366	3366	3366	3366
Poids du sol humide (g)	1759	1820	1851	1828
Poids du sol sec (g)	1599	1606	1622	1566
Volume du moule (cm ³)	911	911	911	911
Densité sèche	1,75	1,76	1,78	1,72
Poids total humide (g)	350,8	514,3	312,9	389,3
Poids total sec (g)	311,2	443,0	267,8	325,9
Poids de l'eau (g)	39,2	71,3	45,1	63,4
Poids du sol sec (g)	311,2	443,0	267,8	325,9
Teneur en eau	9,97	13,34	14,09	16,70



Figure III.5 : Courbe Proctor Normal (0% de sable concassé)

Tableau III.2. Résultats du tuf (5% sable concassé)

Poids d'eau ajoutée	6% 150	8% 200	10% 250	12% 300
Poids total humide (g)	4926	4908	5049	5063
Poids du moule (g)	3336	3336	3336	3336
Poids du sol humide (g)	1590	1662	1713	1727
Poids du sol sec (g)	1590	1548	1561	1540
Volume du moule (cm ³)	911	911	911	911
Densité sèche	1,65	1,70	1,71	1,69
Poids total humide (g)	479,7	517,2	657,9	705,2
Poids total sec (g)	453,4	481,8	597,5	629,1
Poids de l'eau (g)	26,3	35,4	60,4	76,1
Poids du sol sec (g)	453,4	581,8	597,5	629,1
Teneur en eau	5,80	7,35	9,74	12,10

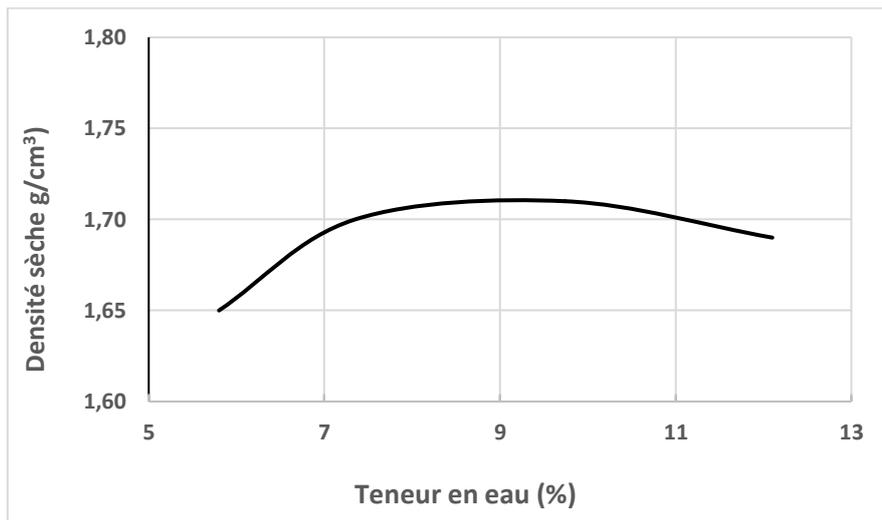


Figure III.6 : Courbe Proctor Normal (5% sable concassé)

Tableau.III.3 : Résultats du tuf (10% sable concassé)

Poids d'eau ajoutée	6% 150	8% 200	10% 250	12% 300
Poids total humide.(g)	4984	5035	5167	5140
Poids du moule (g)	3366	3366	3366	3367
Poids du sol humide (g)	1618	1699	1801	1774
Poids du sol sec (g)	1526	1573	1637	1584
Volume du moule (cm³)	911	911	911	911
Densité sèche	1,67	1,73	1,80	1,74
Poids total humide (g)	439,1	379,5	407,0	333,8
Poids total sec (g)	411,72	348,67	365,70	296,40
Poids de l'eau (g)	27,38	30,83	41,3	37,4
Poids du sol sec (g)	411,72	348,67	365,70	296,40
Teneur en eau	6,65	8,84	11,29	12,62

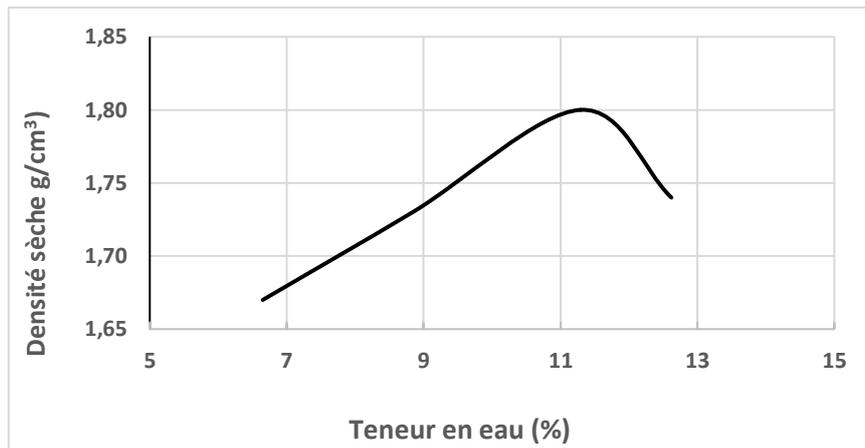


Figure.III.7 : Courbe Proctor Normal (10% sable concassé)

Tableau III.4 : Résultats de tuf (15% sable concassé)

Poids d'eau ajoutée	10% 150	12% 200	14% 350	16% 400
Poids total humide (g)	5089	5127	5222	5213
Poids du moule (g)	3336	3336	3366	3336
Poids du sol humide (g)	1753	1791	1856	1877
Poids du sol sec (g)	1583	1599	1628	1618
Volume du moule (cm ³)	911	911	911	911
Densité sèche	1,74	1,75	1,79	1,78
Poids total humide (g)	426,8	450,3	406,0	370,3
Poids total sec (g)	385,41	403,01	356,88	320,97
Poids de l'eau (g)	41,39	47,29	49,12	49,33
Poids du sol sec (g)	385,41	403,01	356,88	320,97
Teneur en eau	10,74	11,73	13,76	15,41

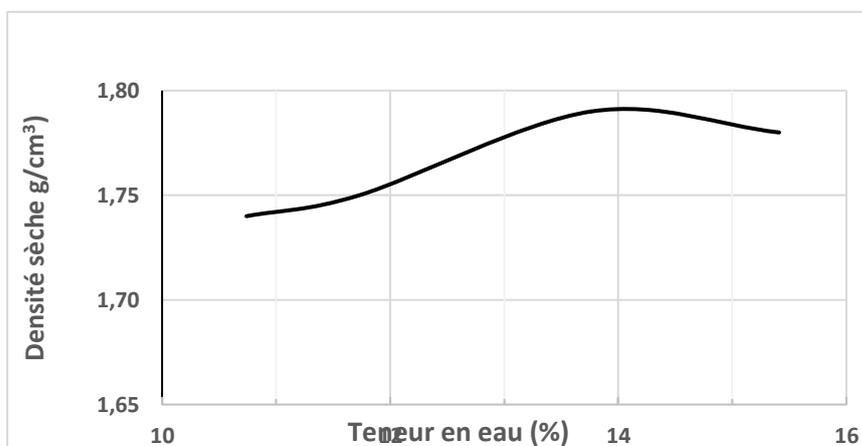


Figure III.8 : Courbe Proctor Normal (15% sable concassé)

Tableau III.5 : Résultats du tuf (20% sable concassé).

Poids d'eau ajoutée	10% 250	12% 200	14% 350	16% 400
Poids total humide (g)	5080	5165	5214	5152
Poids du moule (g)	3366	3366	3336	3336
Poids du sol humide (g)	1714	1799	1878	1816
Poids du sol sec (g)	1558	1606	1647	1565
Volume du moule (cm ³)	911	911	911	911
Densité sèche	1,71	1,76	1,81	1,72
Poids total humide (cm ³)	335,1	351,4	342,3	394,1
Poids total sec (g)	305,69	315,35	300,40	348,04
Poids de l'eau (g)	29,41	36,05	41,9	46,06
Poids du sol sec (g)	305,69	315,35	342,3	348,04
Teneur en eau	9,62	11,43	13,95	15,23

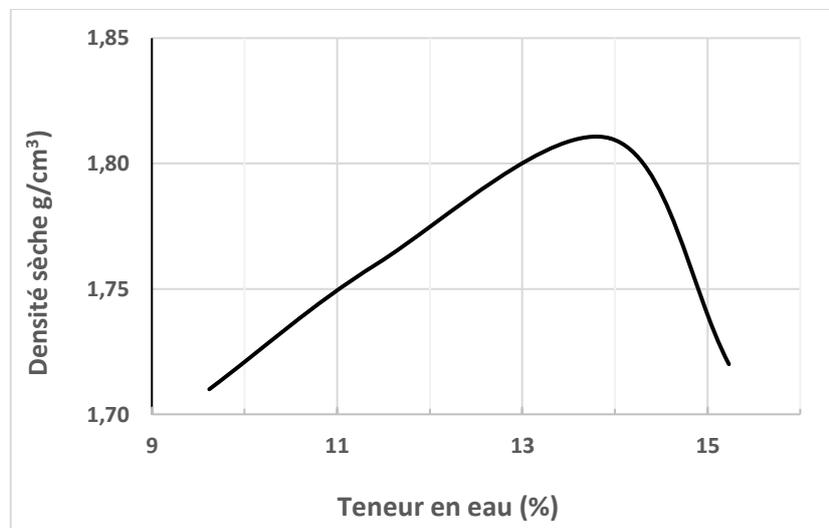


Figure.III.9 : courbe Proctor Normal (20% sable concassé)

CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons étudié la stabilisation des tufs, qui sont utilisés dans la construction d'assise de la chaussée dans les zone Ouargla, par l'ajout des de sable concassé considéré comme déchet de carrière, d'après les résultats obtenus on peut conclure que :

- ✓ Mélange de 80% tufs +20% sable concassé présente une densité sèche maximale importante après compactage.

L'objectif de ce travail est de pallier à ce problème de non stabilité pour l'utilisation de ce matériau aux chaussées à moyen et fort trafic. Une action immédiate est traduite par une diminution dans la teneur en eau de compactage, une augmentation de la densité sèche et une amélioration significative de la portance. [4]

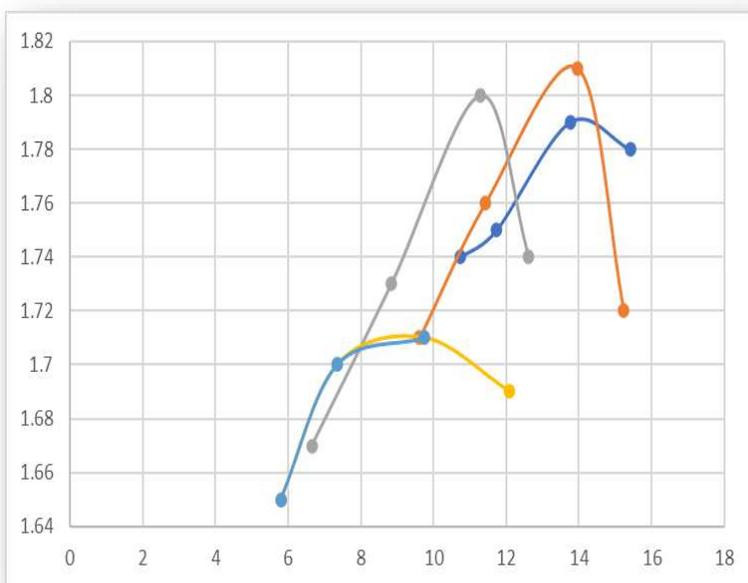


Figure.III.10 : La variation de la densité sèche des différents mélanges.

- Tuf 5% + Sable concassé 95%
- Tuf 80% + Sable concassé 20%
- Tuf 100% + Sable concassé 0%
- Tuf 90% + Sable concassé 10%

concaissé 10%

Tuf 15% + sable concassé 85%

**CONCLUSION
GENERALE**

Conclusion Générale

Les assises de chaussée constituent un élément important dans les structures routières elles contribuent à la répartition des contraintes créées par le trafic.

Les assises en Tuf, qui ne conviennent qu'aux trafics faibles et moyennes, constituent un pourcentage très important des routes existantes en Algérie.

Les études ont montré que les caractéristiques géotechniques souvent faibles des tufs, notamment leur faible résistance aux chocs et à l'abrasion ainsi que leur sensibilité à l'eau, ne permettent pas d'envisager leur emploi en assises de chaussées à moyenne trafic.

L'idée de les associer de Tuf par différents pourcentage sable concassé en vue d'améliorer leurs caractéristiques et mécaniques peut s'avérer intéressante.

Les différents mélanges étudiés représentent les résultats suivants :

- Le mélange de 80% tuf+20% sable concassé présente une densité sèche importante après compactage et une résistance à la traction simple élevée.

Plusieurs procédés d'amélioration des assises de chaussée sont actuellement utilisés, Parmi de ceux-ci, on trouve le procédé d'incorporation de sable concassé.

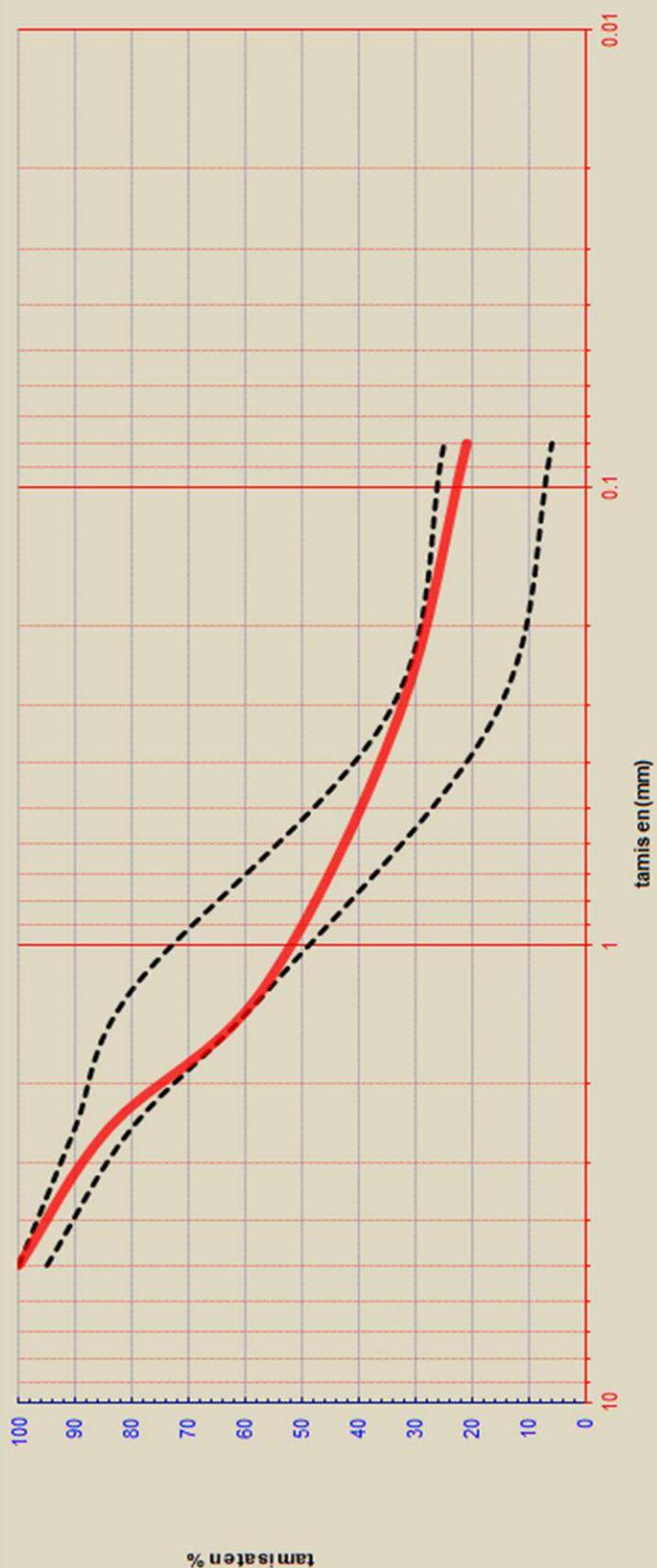
L'effet de l'incorporation de sable concassé sur la stabilisation des assises de chaussée réalisés en tufs d'encroûtement dans le but d'exploiter et de valoriser ces ressources naturelles qui se trouvent en abondance dans les zones sahariennes de notre pays. [6]

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

1. FELLAH Hafidha (2022), Thème AMELIORATION DES PROPRIETES DE COMPACTAGE D'UN Tuf DE LA REGION D'OUARGLA, Mémoire de Master.
2. BENLAHRACHE Brahim et CHENNE Ahmed Zakaria (2022), Thème Traitement chimique d'une mélange Tuf/déchet de brique broyés, Mémoire de Master.
3. KHELLOU Abderrezak (2011), modélisation du Comportement des Matériaux sable /gypse-calcaires, Mémoire de MAGISTER.
4. TOUATI Samia et BARBOUCHI Ahmed (2018), Thème Etude d'un mélange Tuf/sable concassé pour assise de chaussée, Mémoire de Master.
5. GUESMIA ZAHRA et ZAIDI MAROUANE (2019), Thème ETUDE DE LA COMPACTITE DES TUFES CALCAIRES DE LA REGION DE SAIDA, Mémoire de MASTER en Génie civil, Université Saïda-Dr Tahar Moulay.
6. Khabbaze Sami et Saïed Nour El Islem (2021) étude d'un mélange tuf – Emulsion de Bitume pour assise de chaussée, Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla.
7. [https://fr.m.wikipedia.org/wiki.Gypse](https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Gypse)

ANNEXES



fuseau 0.3 courbe min
 04-Apr-23
 fuseau 0.3 courbe max

RAPPORT D'ESSAI ESSAI PROCTOR

NF P94-093

Client :	N° Projet : MASTER 2. VOA
Projet :	Réf. Client :
Endroit :	N° rapport : Rév :

Echantillon n° : TUF	Endroit de prélèvement :
Sondage n° :	Prélevé par :
Profondeur :	Date prélèvement :
Matériaux :	Reçu le : Densité des grains : 2,65
Provenance :	Date essais : Refus à 20mm (%) :

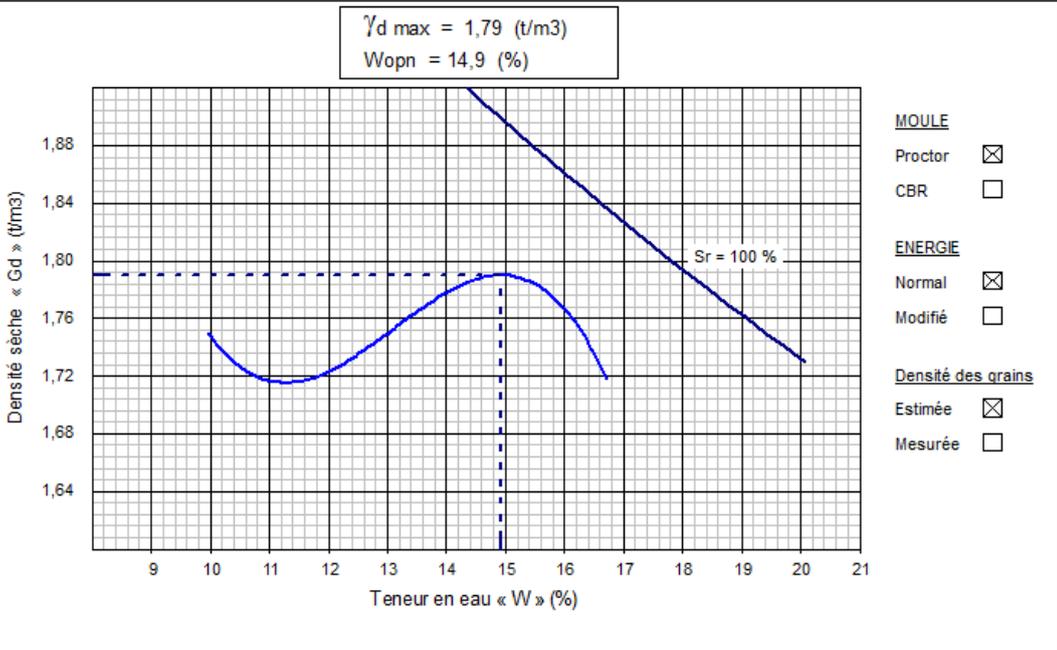


TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES

W (%)	10,0	13,3	14,1	16,7				
Densité (T/m3)	1,75	1,76	1,78	1,72				

© Solistes 2007

Remarque :

Préparé par : HADGER	Date : 29/03/2023	Approuvé par :	Date :
-------------------------	----------------------	----------------	--------

RAPPORT D'ESSAI ESSAI PROCTOR

NF P94-093

Client :	N° Projet : MASTER 2. VOA
Projet :	Réf. Client :
Endroit :	N° rapport : Rév :

Echantillon n° : TUF + 0/3 (5%)	Endroit de prélèvement :	
Sondage n° :	Prélevé par :	
Profondeur :	Date prélèvement :	
Matériaux :	Reçu le :	Densité des grains : 2,65
Provenance :	Date essais : 29/04/2023	Refus à 20mm (%) :

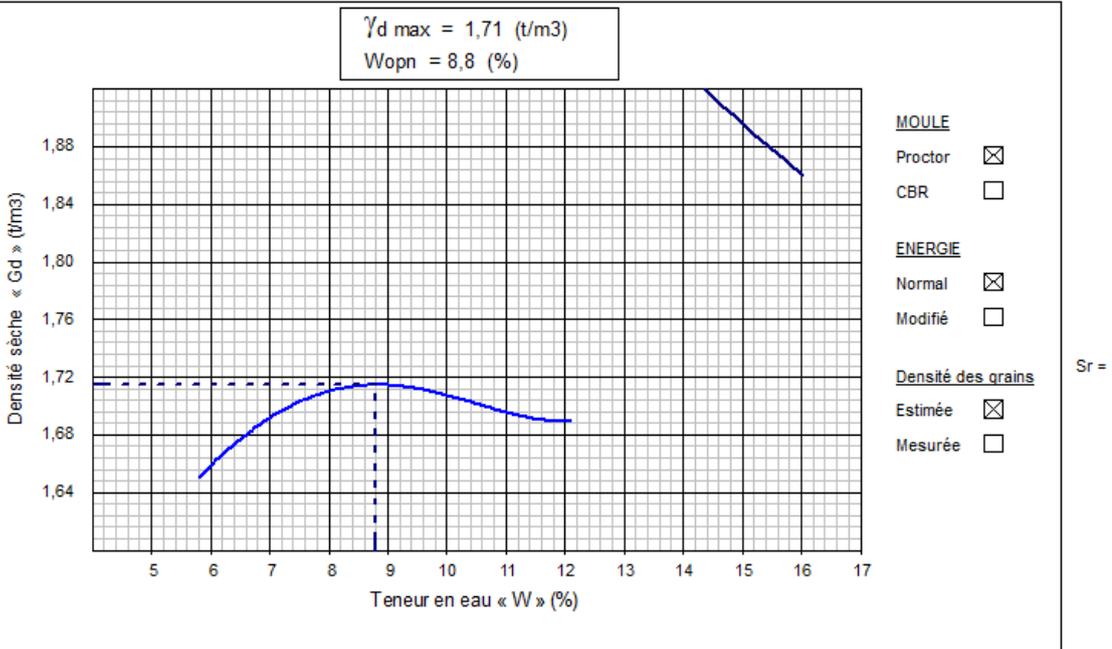


TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES

W (%)	5,8	7,4	9,7	12,1				
Densité (T/m3)	1,65	1,70	1,71	1,69				

© Soitasis 2007

Remarque :

Préparé par : HADGER	Date : 29/03/2023	Approuvé par :	Date :
-------------------------	----------------------	----------------	--------

RAPPORT D'ESSAI ESSAI PROCTOR

NF P94-093

Client :	N° Projet : MASTER 2. VOA	
Projet :	Réf. Client :	
Endroit :	N° rapport :	Rév :

Echantillon n° : TUF + 0/3 (10%)	Endroit de prélèvement :	
Sondage n° :	Prélevé par :	
Profondeur :	Date prélèvement :	
Matériaux :	Reçu le :	Densité des grains : 2,65
Provenance :	Date essais : 29/04/2023	Refus à 20mm (%) :

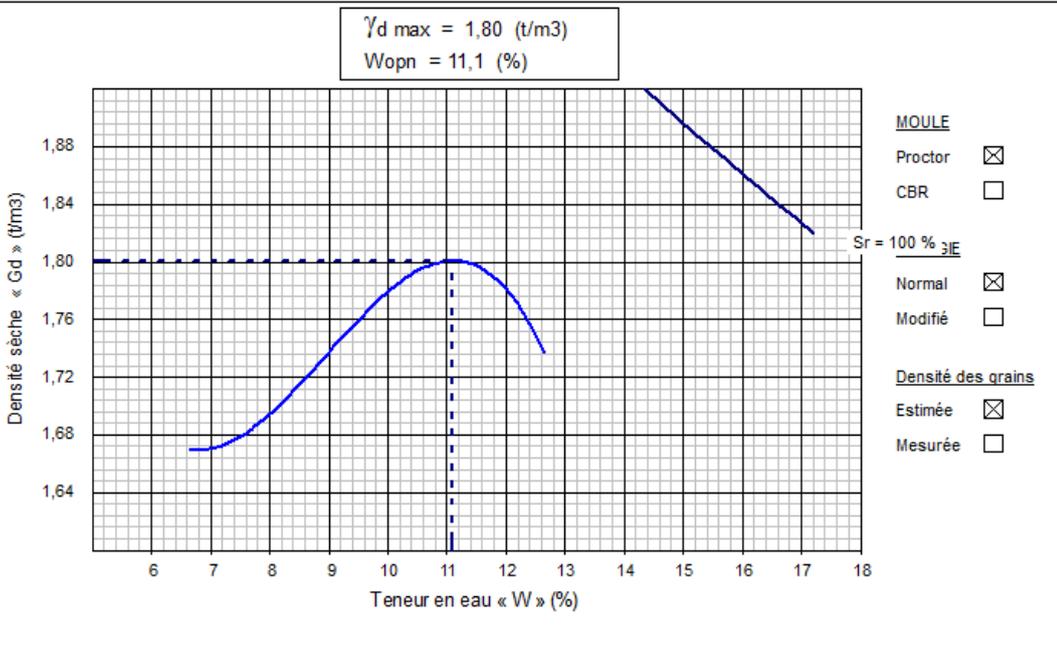


TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES

W (%)	6,7	8,8	11,3	12,6				
Densité (T/m3)	1,67	1,73	1,80	1,74				

© Sofstis 2007

Remarque :

Préparé par :	Date :	Approuvé par :	Date :
HADGER	29/03/2023		

RAPPORT D'ESSAI ESSAI PROCTOR

NF P94-093

Client :	N° Projet : MASTER 2. VOA
Projet :	Réf. Client :
Endroit :	N° rapport : Rév :

Echantillon n° : TUF + 0/3 (15%)	Endroit de prélèvement :	
Sondage n° :	Prélevé par :	
Profondeur :	Date prélèvement :	
Matériaux :	Reçu le :	Densité des grains : 2,65
Provenance :	Date essais : 29/04/2023	Refus à 20mm (%) :

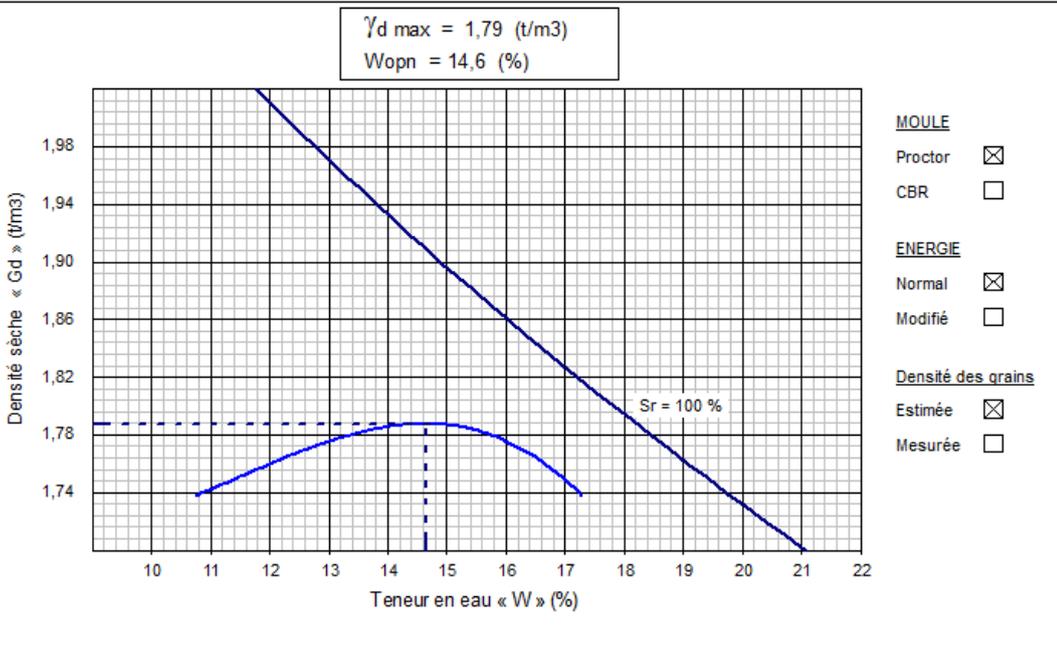


TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES

W (%)	10,7	11,7	13,8	15,4	17,3			
Densité (T/m ³)	1,74	1,75	1,79	1,78	1,74			

© Sothsis 2007

Remarque :

Préparé par : HADGER	Date : 29/03/2023	Approuvé par :	Date :
-------------------------	----------------------	----------------	--------

RAPPORT D'ESSAI ESSAI PROCTOR

NF P94-093

Client :	N° Projet : MASTER 2. VOA
Projet :	Réf. Client :
Endroit :	N° rapport : Rév :

Echantillon n° : TUF + 0/3 (20%)	Endroit de prélèvement :	
Sondage n° :	Prélevé par :	
Profondeur :	Date prélèvement :	
Matériaux :	Reçu le :	Densité des grains : 2,65
Provenance :	Date essais : 29/04/2023	Refus à 20mm (%) :

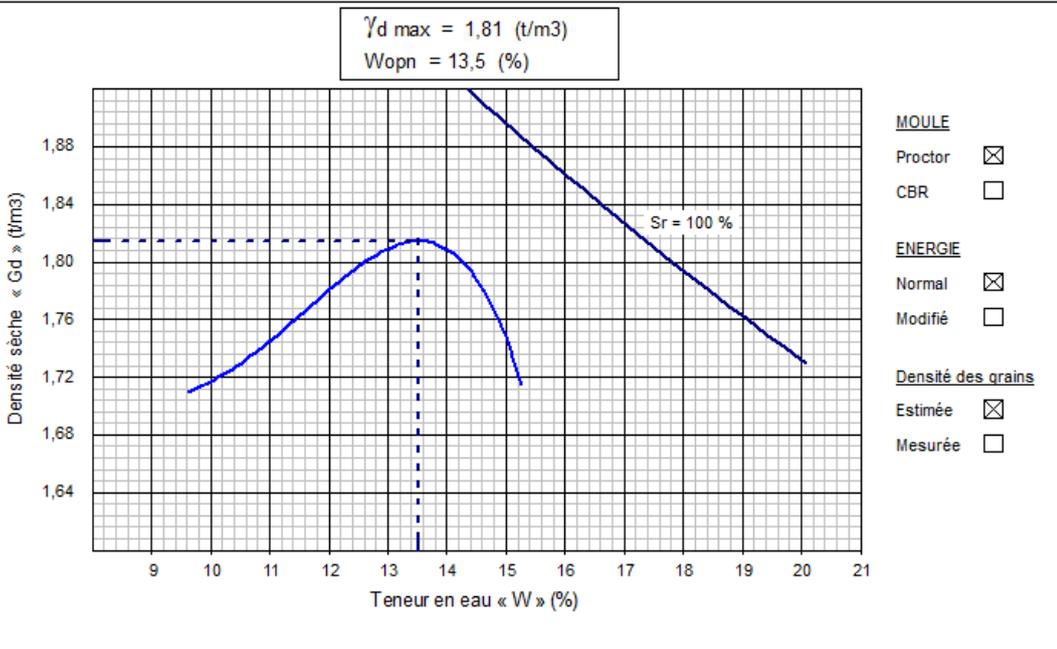


TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES

W (%)	9,6	11,4	14,0	15,2				
Densité (T/m3)	1,71	1,76	1,81	1,72				

© Sothsis 2007

Remarque :

Préparé par : HADGER	Date : 29/03/2023	Approuvé par :	Date :
-------------------------	----------------------	----------------	--------